



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0205845-6 A**

(22) Data de Depósito: 09/12/2002  
(43) Data de Publicação: 18/10/2005  
(RPI 1815)



(51) Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H01F 27/28  
G01R 15/22

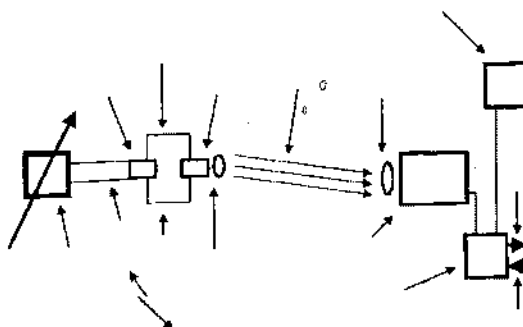
(54) Título: **TRANSFORMADOR DE CORRENTE ELÉTRICA INDUTIVO/OPTOELETRÔNICO**

(71) Depositante(s): Coppe/UFRJ - Coordenação Dos Programas De Pós Graduação De Engenharia Da Universidade Federal Do Rio De Janeiro (BR/RJ)

(72) Inventor(es): Marcelo Martins Werneck, Ricardo Marques Ribeiro, Plínio Porciúncula

(74) Procurador: Joubert Gonçalves de Castro

(57) Resumo: "TRANSFORMADOR DE CORRENTE ELÉTRICA INDUTIVO/OPTOELETRÔNICO". Refere-se a presente invenção, a um transformador de corrente elétrica indutivo/optoeletrônico baseado em tecnologia híbrida com o uso de uma bobina de indução eletromagnética com uma fonte óptica conectada a si. Os sinais de luz são codificados pelo acionamento (modulação) direto do mensurando sobre a referida fonte óptica. Os sinais ópticos assim produzidos são transmitidos livremente e/ou por fibra óptica para o potencial de terra. O sensor possui grande confiabilidade, sensibilidade, faixa dinâmica adequada, é imune à interferência eletromagnética, compacto, de baixo peso, pode ser estendido para sensoriamento multiponto, não necessita de energização in-situ e é ligado ao potencial de terra mantendo-se a isolamento elétrica. Permite monitorar em tempo real a medida do valor médio da amplitude e o formato de onda instantâneo da corrente elétrica em linhas de transmissão, assim como em dispositivos tais como isoladores, buchas, pára-raios e chaves, submetidos a um potencial elétrico (voltagem) arbitrário, inclusive, 13,8 kV, 25,0 kV, 34,5 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV, 750 kV e 800 kV. É robusto, fácil, barato e seguro de se fabricar, instalar e utilizar.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para  
"Transformador de Corrente Elétrica  
Indutivo/Optoeletrônico"

CAMPO TECNICO

5 Refere-se a presente invenção a um transformador de corrente elétrica, baseado na indução eletromagnética combinada com conversão optoeletrônica, para uso em redes de distribuição de energia e em sistemas de potência sob uma tensão elétrica (voltagem) de valor arbitrário como por exemplo, 13,8 kV, 25,0 kV, 34,5 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV, 750 kV e 800 kV. A invenção monitora qualitativamente e/ou quantitativamente em tempo real a corrente elétrica variável no tempo através de linhas de transmissão, isoladores (correntes de fuga), pára-raios, buchas e chaves, embora não se limite a estas aplicações. O módulo de captação indutiva e transdução elétrico-óptico (elemento sensor) instalado no ponto ou pontos de medida(s) não necessita(m) ser energizado(s) e envia(m) os sinais codificados para o potencial de terra através de caminhos não-condutivos como fibra(s) óptica(s) e/ou transmissão livre pela atmosfera.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Com o intuito de melhor fundamentar a presente invenção, descreve-se a seguir algumas de suas motivações.

25 A monitoração da corrente elétrica em tempo real é importante de ser realizada em pontos estratégicos ao longo de linhas de cabos de transmissão de energia. No entanto, é impraticável inserir um medidor de corrente em série com a linha. Portanto torna-se necessário medir a corrente elétrica utilizando alguma técnica não-invasiva de forma a manter a linha de transmissão íntegra.

30 Pára-raios destinam-se a proteger as linhas de transmissão contra a queda de faíscas elétricas originadas da atmosfera com amplitudes típicas de alguns kA e duração de poucos  $\mu$ s. Em decorrência disto, torna-se importante

monitorar a frequência das descargas elétricas bem como a sua amplitude, duração típica e mesmo seu formato de onda (single pulse). Mais uma vez fica claro a necessidade de se dispor de um transformador de corrente não-invasivo, porém para o caso específico dos pára-raios o transformador de corrente deverá ser robusto o suficiente.

Correntes de fuga comprometem a capacidade de isolamento elétrico de diversos dispositivos como isoladores, buchas, chaves, pára-raios, etc. Um transformador de corrente suficientemente sensível para tal aplicação faz-se aqui também necessário.

As condições adversas da natureza, as necessidades impostas para o avanço tecnológico e o desenvolvimento econômico, criam uma série de nichos de aplicações que propiciam o uso da tecnologia de sensores ópticos. Some-se a isto, o seu eventual uso rotineiro, de forma a competir diretamente com os sensores ditos convencionais. De forma genérica, é muitas vezes necessário monitorar grandezas físicas em ambientes hostis, de difícil acesso e/ou sensíveis. Os referidos ambientes podem ser eletromagneticamente ruidosos, como por exemplo, nas vizinhanças de altas tensões elétricas ou correntes, fuselagem de um avião, de altas temperaturas e pressões, de atmosfera corrosiva ou explosiva, poços petrolíferos, minas etc. Em todos estes casos, o uso da tecnologia de sensores elétrico/eletrônicos, ditos convencionais, podem não ser adequados por serem de desempenho insuficiente, perigoso ou mesmo impossível. Além do mais, para ambientes hostis ou não, é muitas vezes necessário realizar o sensoriamento remoto, ou seja, suficientemente longe do ponto ou ponto(s) de medida(s), além de ser conveniente dispensar a alimentação elétrica dos sensores. A tecnologia óptica e de fibras ópticas quando utilizada para a realização de medidas de grandezas elétricas, apresenta intrinsecamente uma série de

vantagens, como: Imunidade à interferência eletromagnética, não-condutividade elétrica, baixo peso, pequeno volume, alta sensibilidade, matéria-prima abundante, resistência térmica e química, permite a

5 construção de sistemas de sensoriamento remoto, passividade elétrica, sensoriamento multiponto e/ou contínuo, multiplexação etc.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

O objetivo central da presente invenção é a de

10 medir e monitorar em tempo real as correntes elétricas através de linhas, cabos de transmissão, pára-raios sob descargas atmosféricas, isoladores, buchas, chaves etc. O invento se aplica a redes sob qualquer tensão elétrica (voltagem) e em particular para valores usuais como 13,8

15 kV, 25 kV, 34,5 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV, 750 kV e 800 kV.

Uma primeira concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente elétrica média (RMS) com base na modulação da intensidade da luz, o

20 que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

- (a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta
- 25 forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;
- (b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série na bobina de indução;
- (c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;
- 30 (d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);
- (e) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (f) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;
- (g) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da
- 35 fibra óptica a um medidor de potência óptica.

Uma segunda concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente elétrica com base na modulação da intensidade da luz, o que requer uma implementação física e é

5 caracterizada pelas etapas de:

(a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica; (b)

10 Inserir um resistor linear ou não-linear em série na bobina de indução;

(b) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;

(c) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o

15 diodo emissor de luz (LED);

(d) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;

(e) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;

(f) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da fibra óptica a um receptor óptico de largura de banda

20 suficiente.

Uma terceira concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente elétrica com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas

25 etapas de:

(a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;

30 (b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série na bobina de indução;

(c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;

(d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o

35 diodo emissor de luz (LED);

- (e) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (f) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;
- (g) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da fibra óptica a um dispositivo sensível a comprimento de onda ou um sensor de cor.

Uma quarta concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente elétrica com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

- (a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;

- (b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série na bobina de indução;

- (c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;

- (d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

- (e) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (f) Estender a fibra óptica até o potencial de terra;
- (g) No potencial de terra, conectar a extremidade livre da fibra óptica a um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor de largura de banda suficiente.

Uma quinta concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente elétrica média (RMS) com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

- (a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;

- (b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série na

bobina de indução;

(c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;

(d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

(e) Acoplar opticamente o LED com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;

(f) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o feixe óptico até o potencial de terra;

(g) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;

(h) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor.

Uma sexta concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente elétrica com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

(a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;

(b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série na bobina de indução;

(c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;

(d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);

(e) Acoplar opticamente o LED com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;

(f) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o feixe óptico até o potencial de terra;

(g) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;

(h) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor com largura de banda suficiente.

Uma sétima concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente elétrica média (RMS) com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

- (a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;
- (b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série na bobina de indução;
- (c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;
- (d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);
- (e) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (f) Estender a fibra óptica até uma localização arbitrária;
- (g) Conectar a extremidade da fibra óptica com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;
- (h) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o feixe óptico até o potencial de terra;
- (i) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;
- (j) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor.

Uma oitava concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir o formato de onda da corrente elétrica com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação física e é caracterizada pelas etapas de:

- (a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente



elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;

- (b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série na
- 5 bobina de indução;
- (c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série com a bobina de indução;
- (d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com o diodo emissor de luz (LED);
- 10 (e) Acoplar opticamente o LED com uma fibra óptica;
- (f) Estender a fibra óptica até uma localização arbitrária;
- (g) Conectar a extremidade da fibra óptica com um sistema de lentes visando a colimação do feixe óptico de saída;
- (h) Alinhar o colimador de forma a transmitir livremente o
- 15 feixe óptico até o potencial de terra;
- (i) No potencial de terra, coletar o feixe óptico com o uso de um sistema de lentes ou espelho parabólico;
- (j) Fazer com que o feixe óptico coletado incida em um dispositivo sensível a comprimento de onda ou sensor de cor
- 20 com largura de banda suficiente.

Uma nona concretização da presente invenção diz respeito à necessidade de se medir a corrente elétrica em mais de um ponto simultaneamente, com base na modulação do comprimento de onda da luz, o que requer uma implementação

25 física e é caracterizada pelas etapas de:

- (a) Envolver a linha ou cabo por onde flui a corrente elétrica com uma bobina de fio condutor de forma a surgir nesta uma força eletromotriz via indução de Faraday e desta forma fazer circular pela bobina uma corrente elétrica;
- 30 (b) Inserir um resistor linear ou não-linear em série em cada bobina de indução;
- (c) Conectar um diodo emissor de luz (LED) em série em cada bobina captadora, para cada ponto que se deseja sensoriar onde os LEDs possuem diferentes comprimentos de onda
- 35 centrais de emissão;

- (d) Conectar um diodo retificador em anti-paralelo com cada um dos diodos emissores de luz (LEDs);
- (e) Acoplar opticamente cada LED com uma fibra óptica;
- (f) Estender cada fibra óptica até o potencial de terra;
- 5 (g) No potencial de terra, conectar a extremidade livre de cada fibra óptica a um acoplador do tipo multiplexador em comprimento de onda;
- (h) Fazer o sinal óptico resultante incidir em um elemento dispersor cromático;
- 10 (i) Fazer com que o feixe óptico espectralmente dispersado incida num detector do tipo CCD ou matriz de fotodiodos.

#### BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

FIGURA 1: Mostra uma arquitetura básica preferencial da invenção onde um transformador (bobina) que envolve a corrente elétrica I a ser medida está conectada em série com um resistor e com uma fonte óptica protegida.

FIGURA 2: Mostra uma arquitetura básica preferencial da invenção onde um transformador (bobina) que envolve a corrente elétrica I a ser medida está conectada em paralelo com um resistor e com uma fonte óptica protegida.

FIGURA 3: Mostra uma arquitetura básica preferencial da invenção onde o conjunto transformador (bobina) e resistor que envolve a corrente elétrica I a ser medida, está conectado a uma fonte óptica protegida e os sinais ópticos modulados são transmitidos por fibra óptica para o potencial de terra.

FIGURA 4: Mostra uma arquitetura básica preferencial da invenção onde o conjunto transformador (bobina) e resistor que envolve a corrente elétrica I a ser medida, está conectado a uma fonte óptica protegida e os sinais ópticos modulados são transmitidos livremente através da atmosfera para o potencial de terra.

FIGURA 5: Mostra uma arquitetura básica preferencial da invenção onde o conjunto transformador (bobina) e resistor que envolve a corrente elétrica I a ser medida, está

conectado à uma fonte óptica protegida e os sinais ópticos modulados são acoplados a uma fibra óptica até um ponto arbitrário e então são enviados por transmissão direta pela atmosfera até o potencial de terra.

- 5 FIGURA 6: Mostra uma arquitetura básica preferencial da invenção onde o conjunto transformador (bobina) e resistor que envolve a corrente elétrica  $I$  a ser medida, está conectado à uma fonte óptica protegida é implementado em três pontos diferentes e os sinais ópticos modulados são transmitidos por fibra óptica para o potencial de terra.

FIGURA 7: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir a potência óptica o formato da intensidade de onda de pulsos ópticos com o uso de um fotodiodo.

- 15 FIGURA 8: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de um dispositivo sensível a comprimento de onda.

FIGURA 9: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de filtro e fotodiodos.

- 20 FIGURA 10: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de uma rede de difração, filtros espaciais e fotodiodos.

FIGURA 11: Mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico destinado a medir o comprimento de onda ou o formato de onda de seu valor instantâneo com o uso de uma rede de difração e um detector do tipo CCD.

#### 30 DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Com o objetivo de solucionar boa parte dos inconvenientes e requerimentos existentes no estado da técnica, desenvolveu-se a presente invenção que consiste em um sistema de sensoriamento híbrido, ou seja, uma

combinação de uma bobina de indução eletromagnética com um módulo de conversão optoeletrônica onde uma fonte de luz é acionada (modulada) diretamente pela corrente secundária que é induzida na bobina pela corrente elétrica primária, ou seja, a que está sendo mensurada ou transformada.

A maneira usual de se medir corrente elétrica consiste em fazê-la fluir integralmente por um dispositivo adequado de muito baixa resistência elétrica tal como um amperímetro usual. O referido amperímetro deverá estar inserido em série com o fio, cabo ou linha de transmissão que se deseje medir e/ou monitorar a corrente elétrica. Conforme já ressaltado em "FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO", muitas vezes é impraticável introduzir algum instrumento em série numa linha de transmissão. Portanto torna-se necessário proceder a algum tipo de medida indireta da corrente. Uma forma de fazer isto é medir o campo magnético produzido externamente por esta corrente, que ao fluir num condutor supostamente cilíndrico produz um campo magnético que circula em torno do condutor. Esta forma de medição embora possa ser correlacionada com a corrente, apresenta dois inconvenientes básicos: O sinal de medição gerado depende da distância radial entre o sensor e o condutor. Além do mais, o sensor é inteiramente susceptível a campos magnéticos provenientes de outras fontes que não sejam o condutor de corrente o que produzirá resultados falsos e/ou introduzirá ruído na medição.

Uma forma, clássica, consiste em utilizar na prática uma outra equação de Maxwell, ou seja, a lei de Faraday que descreve o fato de que a variação temporal do fluxo magnético induz uma força eletromotriz num circuito que envolva tal fluxo. Naturalmente que este mecanismo restringe a medidas de correntes elétricas que variem no tempo como correntes AC ou descargas atmosféricas. A referida força eletromotriz sendo aplicada a um circuito condutor fechado produz circulação de corrente elétrica em

torno deste. De outra forma, o condutor donde se quer medir a corrente pode ser considerado o primário de um transformador ( $N = 1$ ) enquanto que o condutor em circuito fechado, ou bobina captadora faz o papel de secundário com um número arbitrário  $N$  de voltas. Este é o mecanismo clássico utilizado nos sensores de corrente elétrica sem contato físico.

Até o presente, tem-se realizado a transformação de corrente elétrica basicamente com o uso de sensores elétricos convencionais baseado numa bobina de indução eletromagnética de Faraday. Quando implementado da forma convencional, este sensor entre outros inconvenientes, requer energização in-situ e/ou ligação condutiva com o potencial de terra para propósitos de detecção e demodulação.

A patente norte-americana de número US 5,136,248 com o título "Method and detector for identifying insulator flashover" concedida em 1992 a R. A. Maraio, A. T. McMahon and H. B. Hart Jr., descreve um método para a monitoração indireta de correntes elétricas de fuga, baseado na medida do campo magnético produzido pelas mesmas, com o uso de bobinas de indução eletromagnéticas.

Uma outra forma mais eficiente de se medir a corrente elétrica consiste em medir a circulação (integral de linha) do campo magnético em torno do condutor ao invés de simplesmente medir o campo magnético produzido num certo ponto em particular. Desta forma, estará sendo utilizada na prática uma das equações de Maxwell onde a circulação completa do campo magnético é proporcional a corrente envolvida pelo contorno. Desta forma pode-se utilizar o efeito Faraday que ocorre em certos materiais sólidos inclusive a sílica da qual são fabricadas fibras ópticas convencionais. O efeito é comandado pela constante de Verdet do material e implica numa rotação da polarização da luz ao se propagar (circular) na mesma direção do campo

magnético. Desvantagens desta técnica são principalmente o seu custo e complexidade.

A invenção aqui sendo revelada faz uso de vantagens da bobina de indução eletromagnética em combinação com tecnologia óptica. A bobina de indução eletromagnética é prática, fácil e rápida de ser projetada, construída e instalada de forma a compor um circuito fechado em torno do condutor por onde flui a corrente elétrica que se quer medir. Por um outro lado, pode facilmente ser ajustada em sua sensibilidade no formato geométrico otimizado como bobinas toroidais e/ou quanto ao uso de materiais magnéticos como ar, ferro, ferrite, etc para compor o seu núcleo.

Uma fonte de luz é então inserida em série ou em paralelo com a bobina de indução eletromagnética e o sinal óptico análogo à corrente secundária é enviado para o potencial de terra via fibra óptica e/ou transmissão livre pela atmosfera.

O transformador de corrente elétrica indutivo/optoeletrônico aqui objeto de invenção é intermediário ao que se denomina de sensor ativo e passivo. Um sensor ativo é aquele que necessita de algum tipo de alimentação, mais usualmente energia elétrica ou óptica fornecida externamente. Um sensor óptico passivo deve ser sondado por luz através de uma fibra óptica onde o mensurando fica codificado e retorna, ou prossegue por transmissão através desta mesma ou uma segunda fibra óptica para demodulação remota. O transformador de corrente aqui descrito não necessita de alimentação elétrica in-situ, exceto o acionamento (modulação) exercido pelo próprio mensurando (corrente elétrica) e envia os sinais ópticos para o potencial de terra por caminhos não-condutivos.

Para detalhar o funcionamento da invenção, serão utilizadas as FIGURAS 1-11.

A FIGURA 1 mostra o diagrama da arquitetura

preferencial da presente invenção onde (1) é a bobina, (2) é o resistor linear ou não-linear conectado em série, (3) é o cabo por onde flui a corrente  $I$  objeto de medida, (4) são conexões elétricas com um componente (ou circuito) eletrônico passivo de proteção (5) como um diodo retificador ou LED limitador de tensões de pico e/ou correntes reversas que possam fluir, (6) são conexões elétricas com uma fonte óptica (7) que ao ser acionada pela corrente elétrica  $I$  emite luz modulada (8).

A FIGURA 2 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção onde (1) é a bobina, (2) é o resistor linear ou não-linear conectado em paralelo, (3) é o cabo por onde flui a corrente  $I$  objeto de medida, (4) são conexões elétricas com um componente (ou circuito) eletrônico passivo de proteção (5) como um diodo retificador ou LED limitador de tensões de pico e/ou correntes reversas que possam fluir, (6) são conexões elétricas com uma fonte óptica (7) que ao ser acionada pela corrente elétrica  $I$  emite luz modulada (8).

A FIGURA 3 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção onde (9) é o conjunto bobina (1) e resistor linear ou não-linear (2) que envolve a corrente  $I$  a ser medida, (4) são conexões elétricas com um componente (ou circuito) eletrônico passivo de proteção (5) como um diodo retificador ou LED limitador de tensões de pico e/ou correntes reversas que possam fluir, (6) são conexões elétricas com uma fonte óptica (7) que ao ser acionada pela corrente elétrica  $I$  emite luz modulada (8) que é acoplada numa fibra óptica (10) que em princípio não apresenta restrições quanto ao comprimento, exceto pela atenuação causada. A fonte óptica (7) quando desta forma acionada, é modulada tanto na sua intensidade (amplitude) óptica quanto no seu comprimento de onda central e/ou formato espectral. O sinal óptico codificado pelo valor instantâneo da corrente se propaga então pela fibra óptica

(10), até ser detectado e demodulado pelo receptor óptico (11) localizado numa posição conveniente, usualmente no potencial de terra. Desta forma, os dados de medidas assim obtidos podem ficar armazenados numa memória (datalogger) (12). Um controlador local (13) controla todos os procedimentos e que por sua vez pode ser controlado remotamente através da entrada (14), e (15) é saída para envio de dados para telemetria.

A FIGURA 4 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção onde a luz modulada produzida pela fonte óptica (7) passa pelo componente ou sistema óptico de colimação (16) que lhe está acoplado, e então o feixe óptico colimado (17) se propaga livremente através atmosfera numa distância arbitrária até ser capturado pelo componente ou sistema óptico de coleta (18) acoplado ao receptor óptico (11) usualmente localizado no potencial de terra. De resto, o funcionamento do invento quando implementado desta forma, é idêntico ao que foi descrito com o auxílio da FIGURA 3, exceto pelo fato de que não é recomendável que opere em modulação da intensidade (amplitude) óptica.

A FIGURA 5 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção onde a luz modulada produzida pela fonte óptica (7) é injetada e guiada pela fibra óptica (19) de comprimento arbitrário, que por sua vez está acoplada a um componente ou sistema óptico de colimação (16) localizado numa posição arbitrária, porém, não necessariamente o potencial de terra. Então o feixe óptico colimado (17) se propaga livremente através atmosfera numa distância arbitrária até ser capturado pelo componente ou sistema óptico de coleta (18) acoplado a uma fibra óptica (20) de comprimento arbitrário (inclusive comprimento nulo) que é conectada ao receptor óptico (11) usualmente localizado no potencial de terra. De resto, o funcionamento do invento quando implementado desta forma, é



idêntico ao que foi descrito com o auxílio da FIGURA 3, exceto pelo fato de que não é recomendável que opere em modulação da intensidade (amplitude) óptica.

A FIGURA 6 mostra o diagrama da arquitetura preferencial da presente invenção implementada para sensoramento multiponto em três pontos discretos. Há para cada um destes pontos, três módulos de sensoramento (9) que envolvem a corrente elétrica  $I_i$  (onde  $i$  designa o número do ponto de sensoramento), com as respectivas fontes ópticas (7) cada qual emitindo num comprimento de onda central  $\lambda_i$  diferente para cada posição  $i$ , de forma que seus espectros não se superponham qualquer que seja o valor instantâneo da corrente elétrica  $I_i$ , que é modulada diretamente pelo mensurando. O sinal óptico assim produzido pode ser imediatamente injetado na fibra óptica (10) conectada a cada uma das fontes ópticas (7). Cada fibra óptica (10) conduz os sinais ópticos para serem detectados e demodulados pelo receptor óptico (11) localizado numa posição conveniente, usualmente no potencial de terra. Desta forma, os dados assim obtidos podem ficar armazenados numa memória (datalogger) (12). Um controlador local (13) controla todos os procedimentos e que por sua vez pode ser controlado remotamente através da entrada (14), e (15) é saída para envio de dados para telemetria. O invento pode ser estendido para sensoriar correntes em um número arbitrário de pontos ao invés de três que é meramente uma ilustração.

A FIGURA 7 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (11) onde (21) é um fotodiodo, (22) é um cabo de conexão elétrica e (23) é um circuito eletrônico que demodula em intensidade (amplitude) os sinais ópticos que foram convertidos para sinais elétricos pelo fotodiodo (22) de forma a se obter o formato de onda das correntes. Alternativamente, o fotodiodo (22) poderá ser sensível o suficiente para que ao ser acoplado

ao circuito eletrônico (23) se constitua em um medidor de potência óptica e então pode-se obter o valor médio (RMS) das correntes com grande sensibilidade.

A FIGURA 8 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (11) onde, (24) é um dispositivo sensível a comprimento de onda (Wavelength Sensitive Device ou WSD), como por exemplo, os fabricados pela Pacific Silicon Sensor, (25) é uma junção PN sensível à luz do tipo "red enhanced", ou seja, com pico de sensibilidade de detecção em maiores comprimentos de onda, (26) é uma junção PN sensível à luz do tipo "blue enhanced", ou seja, com pico de sensibilidade de detecção em menores comprimentos de onda, (22) é um cabo de conexão elétrica e (27) é um circuito eletrônico de demodulação que fornece uma voltagem em sua saída correspondente ao valor central de comprimento de onda incidente no WSD (24), independente da potência óptica. O receptor óptico (11) quando implementado desta forma, realiza a demodulação no domínio das frequências ópticas tanto no valor médio (RMS) do comprimento de onda, quanto no formato temporal de onda do comprimento de onda central emitido pela fonte óptica (4) ao ser acionada pelas correntes.

A FIGURA 9 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (11) que realiza a mesma função descrita pela arquitetura ilustrada na FIGURA 8. Desta forma, (28) é um feixe óptico incidente, (29) é um filtro (espelho) dicróico. Este último possui um comprimento de onda de corte de forma que comprimentos maiores que este são transmitidos e menores são refletidos ou vice-versa. O feixe óptico transmitido é o (30), (31) é o feixe óptico refletido, e (32) e (33) são fotodiodos. Qualquer mudança no comprimento de onda central do feixe (28) implicará numa mudança relativa entre a fração de feixe transmitido (30) e o refletido (31). Subtraindo o sinal obtido nos fotodiodos (32) e (33) e dividindo pela

sua soma, obtém-se um análogo elétrico do comprimento de onda independente da potência óptica.

A FIGURA 10 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (11) onde (28) é um feixe óptico incidente, (34) é uma rede de difração, (35) são feixes ópticos dispersados espectralmente, (36) são filtros espaciais (aberturas) e (37) são fotodiodos. O receptor óptico (11) quando implementado desta forma, atua como um monocromador quando, por exemplo, a rede de difração (34) for dotada de movimento angular preciso em torno, por exemplo, de seu ponto central. É também possível utilizar um prisma como elemento de dispersão espectral e apenas um fotodiodo (37).

A FIGURA 11 mostra um diagrama de blocos simplificado de um receptor óptico (11) onde (28) é um feixe óptico incidente, (34) é uma rede de difração, (35) são feixes ópticos dispersados espectralmente, e (38) é um detector do tipo CCD. Desta forma o receptor óptico (11) quando implementado desta forma, atua como um espectrômetro de CCD que ao contrário do descrito na FIGURA 10, não possui partes móveis, pois o detector CCD (38) possui dimensão linear adequada para acomodar o intervalo espectral de interesse.

O transformador (bobina) mostrado em (1) pode ser de qualquer tipo descrito na literatura que é de conhecimento pelos atualizados no estado-da-arte. A geometria do enrolamento da bobina é de um tipo arbitrário como por exemplo o enrolamento toroidal ou uma bobina de Rogowsky. A bobina pode ser simplesmente preenchida e ar ou então conter um material arbitrário com o intuito de reforçar o fluxo de campo magnético. Entre estes materiais pode-se destacar o ferro e a ferrite embora a invenção não esteja limitada à estes. Embora a concepção revelada nesta patente se refira a uma fonte óptica (7) genérica, do ponto de vista prático o uso de um diodo emissor de luz (LED de

visualização ou display) é uma escolha conveniente. Entretanto, deve-se mencionar que o uso de qualquer fonte óptica (7) capaz de emitir luz sob ação de correntes elétricas está no espírito desta invenção. A proteção (5) do LED (7) contra surtos de tensões de pico e/ou correntes reversas, pode ser simplesmente um diodo retificador conectado ao LED (7) em anti-paralelo produzindo o sinal óptico (8). Desta forma, as correntes elétricas podem modular a intensidade de emissão e o comprimento de onda do LED. O sinal assim obtido pode ser acoplado e transmitido por uma fibra óptica (10) plástica de PMMA (poly-metil-metacrilato) para o potencial de terra. O uso de fibras ópticas plásticas de PMMA é particularmente interessante por serem estas robustas, fáceis e seguras de manipular, e consistir numa tecnologia de baixo custo. Entretanto a invenção não se limita ao uso destas fibras. Está também no espírito da invenção o uso de fibras ópticas convencionais, ou seja, com uma matriz vítrea baseada na sílica fundida ( $\text{SiO}_2$ ) como matéria-prima, outros tipos de vidros ópticos, outros polímeros ópticos como os polímeros per-fluoretados (perfluorinated) de última geração, policarbonato etc, assim como um feixe de fibras ópticas poliméricas ou vítreas, e uma guia óptica de núcleo líquido. O receptor óptico (11) do tipo ilustrado nas FIGURAS 3-6 localizado no potencial de terra pode utilizar um fotodiodo (21) PIN e amplificação em modo de transimpedância como sendo o circuito eletrônico (23). Desta forma obtém-se a intensidade instantânea das correntes elétricas enquanto que o valor médio pode ser calculado. O invento também pode ser implementado com o uso de um medidor de potência óptica comercial como sendo o receptor óptico (11). Neste caso, apenas a corrente elétrica média (RMS) pode ser medida computando-se também suas variações lentas no tempo. Quando se usa LEDs de alta eficiência quântica como sendo a fonte óptica (7), torna-se possível medir valores de correntes

secundárias da ordem de 100  $\mu$ A ou ainda menores, dependendo da sensibilidade efetiva do receptor óptico (11). O invento quando pode monitorar o formato de onda das correntes, e apresenta uma faixa dinâmica típica de operação maior que

5 100 mA/100 $\mu$ A = 1000 = 30 dB que é adequada para aplicações práticas, porém pode facilmente ser melhorado. Com o uso de um LED bicolor ou tricolor convenientemente conectados, pode-se obter o formato da corrente com retificação em onda completa. Ao se usar dois fotodiodos (21) com saída

10 elétrica invertida para o circuito eletrônico (23), pode-se obter um formato do tipo corrente alternada fiel ao original elétrico.

Desta forma, o transformador de corrente aqui objeto de invenção, permite obter em tempo real a medida do

15 valor médio da amplitude das correntes, assim como o seu formato de onda e distorções que a acompanham. Várias são as aplicações do transformador de corrente aqui objeto de invenção: Medida e monitoração das correntes em linhas de transmissão, em transformadores, buchas, pára-raios e

20 correntes de fuga em isoladores. A invenção não se limita entretanto à estas aplicações.

O sensoriamento modulado na intensidade óptica apresenta diversos inconvenientes conhecidos como: Dependência da estabilidade da potência das fontes ópticas

25 utilizadas, variação das características de propagação ao longo das fibras ópticas como a atenuação variável no tempo em decorrência de manipulação e envelhecimento, efeitos mecânicos nos conectores e o envelhecimento da fonte óptica. Para diversas aplicações, a modulação em

30 intensidade não chega a acarretar imprecisões significativas. No entanto, quando a demanda for de grande precisão, uma forma de solucionar os inconvenientes descritos anteriormente, é simplesmente utilizar uma outra técnica de demodulação. Pode-se realizar demodulação em

comprimento de onda do pico de emissão do LED como função do valor instantâneo da corrente elétrica. O LED então não só muda de intensidade, como também "muda de cor" com o valor instantâneo da corrente injetada, o que consiste  
5 então numa modulação da frequência óptica. Os LEDs violetas, azuis e verdes, geralmente baseados nos semicondutores da família do GaN, InGaN, SiC e estruturas combinadas, emitem luz cuja potência e comprimento de onda central, são ambos praticamente independentes de variações  
10 da temperatura ambiental, conforme pode ser visto no artigo "High temperature nitride sources for plastic optical fibre data buses" apresentado na 10<sup>th</sup> International Plastic Optical Fibres Conference 2001 em Amsterdam/Holanda e o catálogo "Nichia Chemical Corporation Lamp Type LED Product  
15 Guide Brochure" de maio/1999 da Nichia Chemical Corporation/Japão. Desta forma, a demodulação é feita com base em uma "assinatura óptica" ao invés da intensidade, onde o receptor óptico (11) pode ser implementado segundo os esquemas ilustrados pelas FIGURAS 8-11, sendo apenas  
20 sensível ao comprimento de onda, e não a intensidade da luz. Obtém-se assim um transformador de correntes mais imune a efeitos ambientais, mecânicos e envelhecimento, e está também no espírito da presente invenção.

O sensor aqui objeto de invenção possui grande  
25 sensibilidade, faixa dinâmica adequada, permite obter em tempo real a medida do valor médio da amplitude das correntes elétricas, assim como o seu formato de onda, é confiável, fácil, barato e seguro de se fabricar, instalar e utilizar.

30 A invenção não está limitada aos arranjos particulares e exemplos descritos. Variações e modificações dentro dos limites nos quais funciona também estão dentro do espírito da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico, caracterizado pelos seguintes módulos com as respectivas funções:

- 5 (a) Bobina de indução eletromagnética caracterizando um transformador de corrente convencional que deve envolver completamente o cabo ou fio condutor por onde flui a corrente elétrica que se deseja medir e/ou monitorar;
- (b) Um resistor linear ou não-linear limitador de corrente  
10 com resistência de valor arbitrário conectado em série com a bobina de indução;
- (c) Módulo de transdução elétrico-óptico a ser conectado em série com a bobina de indução de forma que por este módulo de transdução atravessasse a corrente elétrica secundária,  
15 onde esta última aciona (modula) uma fonte óptica que emite preferencialmente, mas não exclusivamente, na faixa dentro do espectro ultravioleta-visível-infravermelho e está conectada com um circuito eletrônico passivo para ser protegida contra altos valores de tensão e de correntes de  
20 pico reversas (surtos);
- (d) A fonte óptica deve produzir luz, visível ou não, ao ser atravessada por corrente elétrica e poderá ser do tipo: Diodo emissor de luz inorgânico (LED), diodo emissor de luz orgânico (OLED), diodo emissor de luz em cavidade  
25 ressonante (RCLED), laser de diodo do tipo cavidade de Fabry-Perot, laser de diodo do tipo DFB, laser de diodo do tipo DBR, laser de diodo do tipo VCSEL, laser a fibra óptica, emissor de radiação espontânea amplificada (ASE) a fibra óptica dopada, emissor de radiação espontânea  
30 amplificada (ASE) a semicondutor (SLA), lâmpada de filamento, lâmpada de gás como a fluorescente e a de flash e lâmpada de arco;
- (e) A linha de transmissão, fio, cabo ou o dispositivo sendo sensoriado quanto a corrente elétrica que lhe  
35 atravessa, poderá estar submetido a um potencial elétrico

de valor arbitrário, inclusive: 13,8 kV, 25,0 kV, 34,5 kV, 69,0 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV, 750 kV e 800 kV;

(f) Meio físico de transmissão dos sinais ópticos gerados pelo módulo descrito em (a)-(d) para o potencial de terra, e que consiste em uma fibra óptica de polímero ou de material vítreo, assim como um feixe destas fibras ou uma guia óptica de núcleo líquido, conectada ao módulo de transdução elétrico-óptico cujo comprimento em princípio arbitrário só fica limitado pela tolerância com relação à atenuação óptica total;

(g) Receptor óptico remoto conectado à fibra óptica descrita em (f), localizado preferencialmente, mas não exclusivamente, no potencial de terra, cuja função é a de detectar e demodular os sinais ópticos modulados pelo valor instantâneo da corrente elétrica em: Intensidade (amplitude óptica), e/ou frequência óptica ou comprimento de onda central e/ou formato do espectro de emissão.

2- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato do módulo de transdução elétrico-óptico estar conectado em paralelo com a bobina de indução eletromagnética.

3- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de se ter uma fonte óptica semicondutora no módulo transdutor e esta ser conectada em antiparalelo a um circuito eletrônico passivo de proteção constituído de um diodo retificador.

4- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de se ter uma fonte óptica semicondutora no módulo transdutor e esta ser conectada em antiparalelo a um circuito eletrônico passivo de proteção constituído de um diodo emissor de luz (LED).



5- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1 e 2, caracterizado pelo fato de se ter uma fonte óptica semicondutora no módulo transdutor e esta ser conectada a um circuito eletrônico passivo de proteção constituído de diodo retificador ou LED, supressor de transiente e indutor.

6- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-5, caracterizado pelo fato do sinal óptico modulado pela corrente elétrica ser transmitido livremente pela atmosfera para um outro ponto conveniente como o potencial de terra e aí ser coletado.

7- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-5, caracterizado pelo fato do sinal óptico modulado pela corrente elétrica ser transmitido por fibra óptica até algum ponto conveniente e a partir deste ser transmitido livremente pela atmosfera para um outro ponto conveniente como o potencial de terra e aí ser coletado.

8- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-5, caracterizado pelo fato do sinal óptico modulado pela corrente elétrica ser transmitido livremente pela atmosfera para um ponto conveniente não necessariamente sendo o potencial de terra, e aí ser acoplado numa fibra óptica que transmite o sinal até algum ponto conveniente como o potencial de terra.

9- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-8, caracterizado pelo fato de haverem simultaneamente mais de um dispositivo sendo sensoriado onde em cada um destes pontos há um módulo de transdução elétrico-óptico.

10- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-

9, caracterizado pelo fato do módulo de recepção óptica disponibilizar sinais elétricos de saída para visualização e controle local.

11- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado pelo fato do módulo de recepção óptica disponibilizar sinais elétricos de saída para telemetria ainda mais remota através do uso de cabo telefônico.

12- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado pelo fato do módulo de recepção óptica disponibilizar sinais elétricos de saída para telemetria ainda mais remota através de radio-transmissão ponto-a-ponto.

13- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado pelo fato do módulo de recepção óptica disponibilizar sinais elétricos de saída para telemetria ainda mais remota através de radio-transmissão via satélite.

14- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-9, caracterizado pelo fato do módulo de recepção óptica disponibilizar sinais elétricos de saída que podem modular uma fonte óptica para então realizar para telemetria ainda mais remota através transmissão óptica sem fio.

15- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-14, caracterizado pelo fato da bobina de indução eletromagnética envolver um fio, linha ou cabo de transmissão de energia elétrica.

16- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-14, caracterizado pelo fato da bobina de indução eletromagnética envolver um fio, linha ou cabo que liga a

linha de transmissão de energia ao isolador com o intuito de medir correntes de fuga.

17- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-14, caracterizado pelo fato da bobina de indução eletromagnética envolver um fio, linha ou cabo que liga o isolador (este ligado à uma linha de transmissão de energia) ao potencial de terra com o intuito de medir correntes de fuga.

18- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-14, caracterizado pelo fato da bobina de indução eletromagnética envolver um fio, linha ou cabo que liga o pára-raio ao potencial de terra com o intuito de medir as descargas atmosféricas.

19- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-14, caracterizado pelo fato da bobina de indução eletromagnética envolver um fio, linha ou cabo que liga uma bucha ao potencial de terra.

20- Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico de acordo com as reivindicações 1-14, caracterizado pelo fato da bobina de indução eletromagnética envolver um fio, linha ou cabo que liga uma chave ao potencial de terra.

DESENHOS

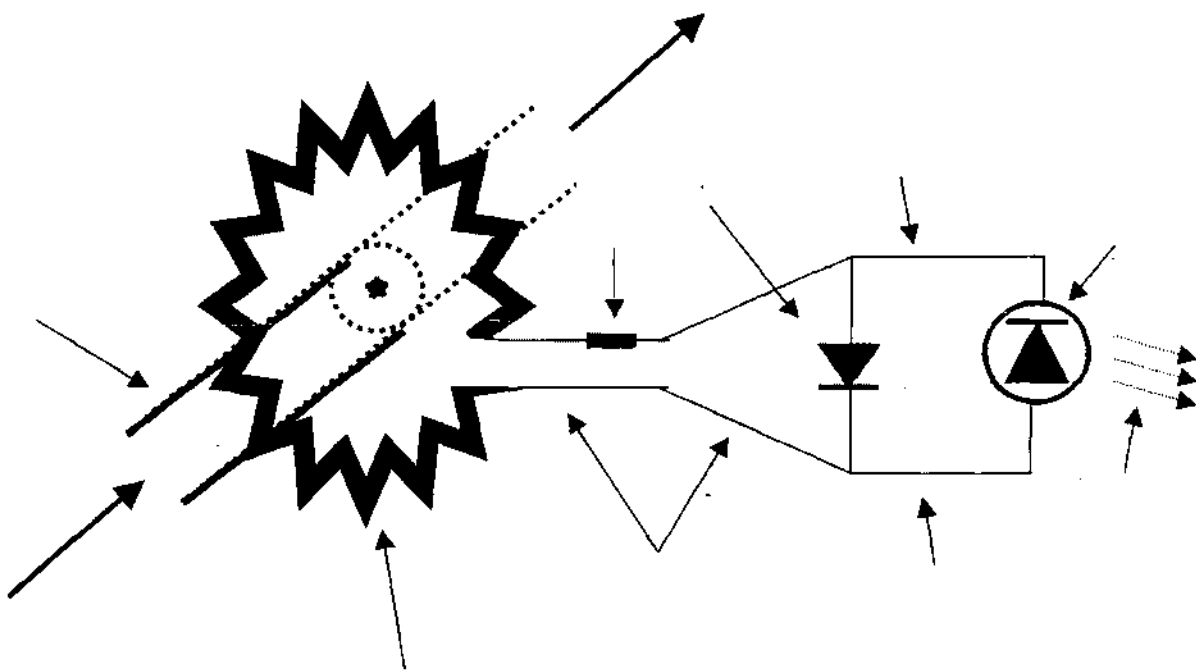


Figura 1

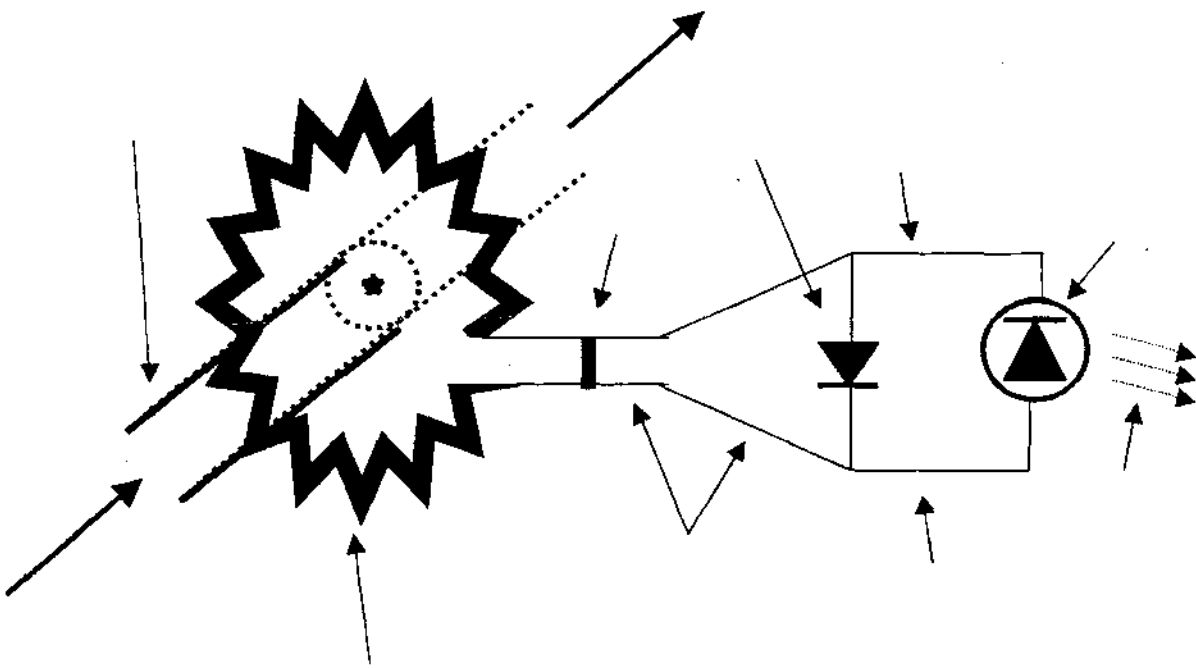


Figura 2

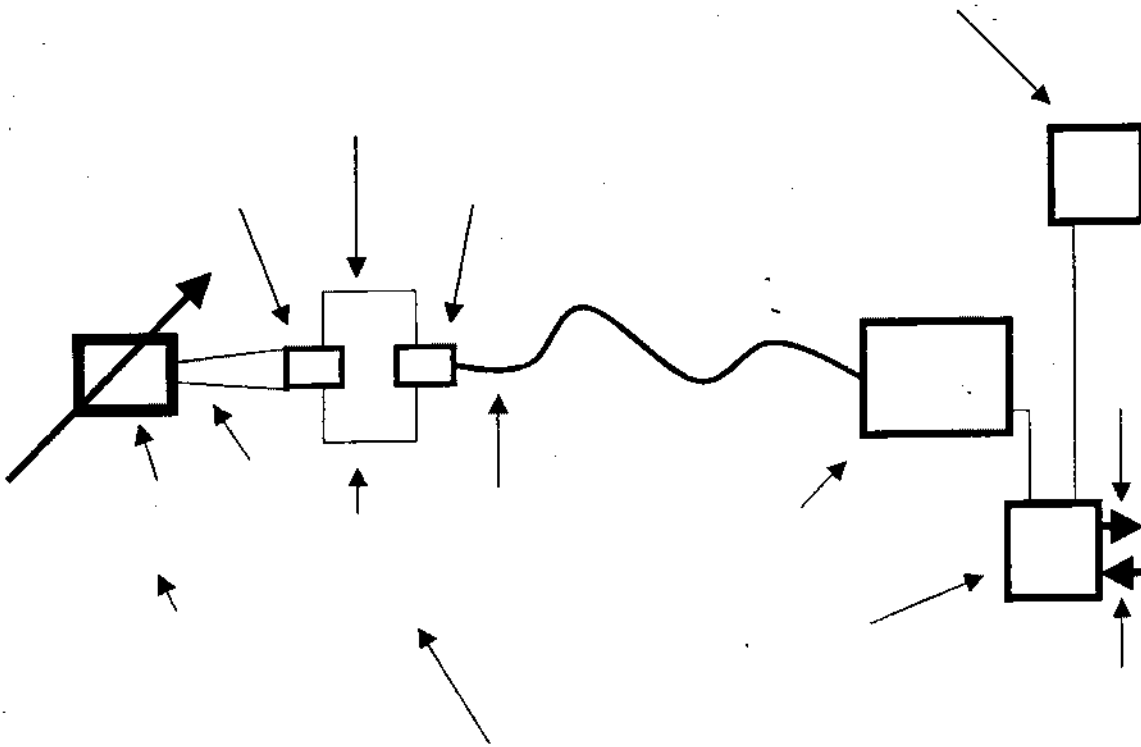


Figura 3

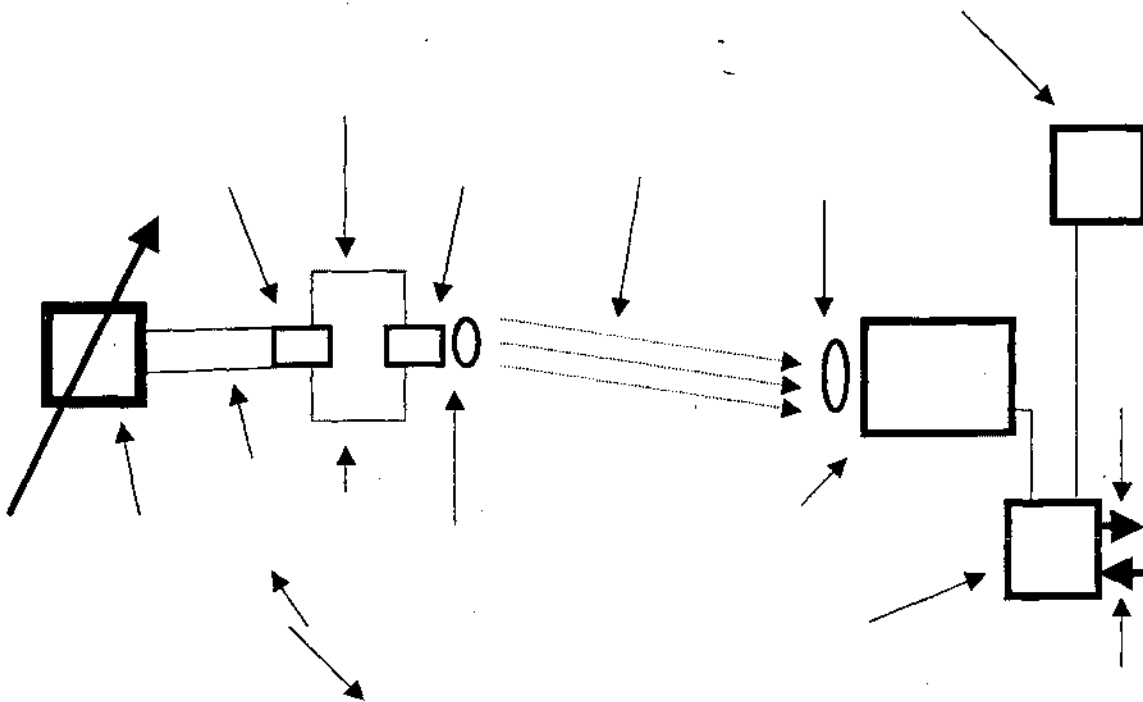


Figura 4

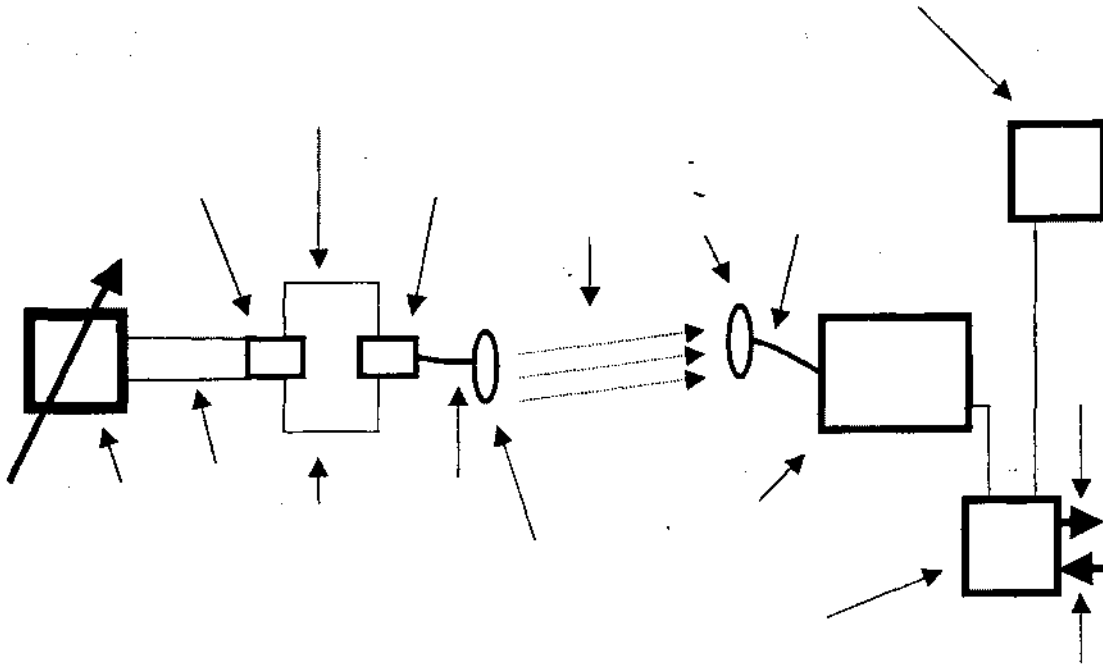


Figura 5



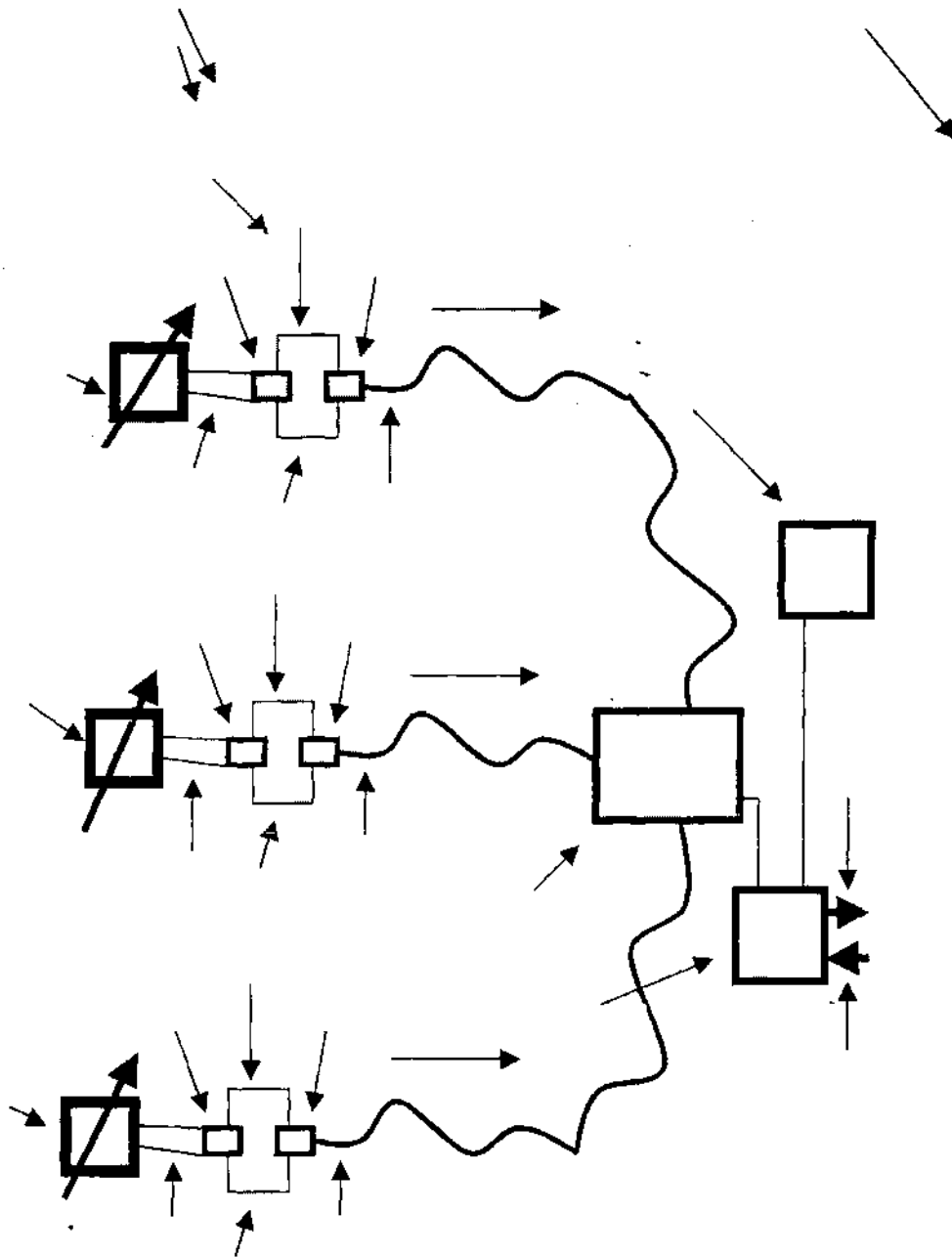


Figura 6

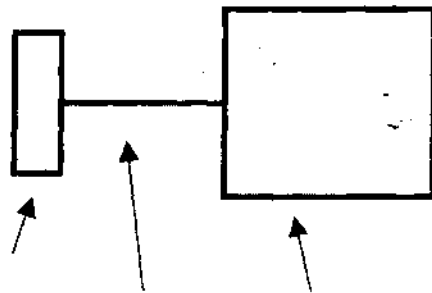


Figura 7

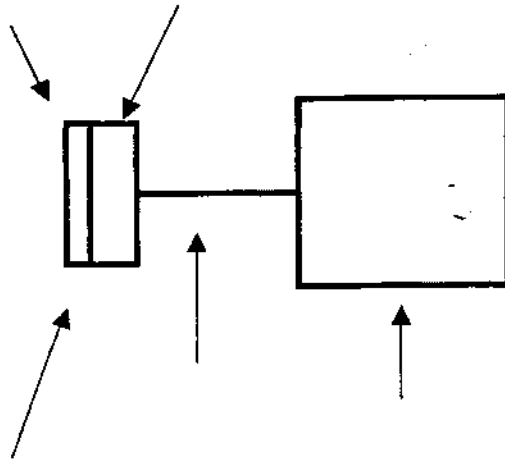


Figura 8



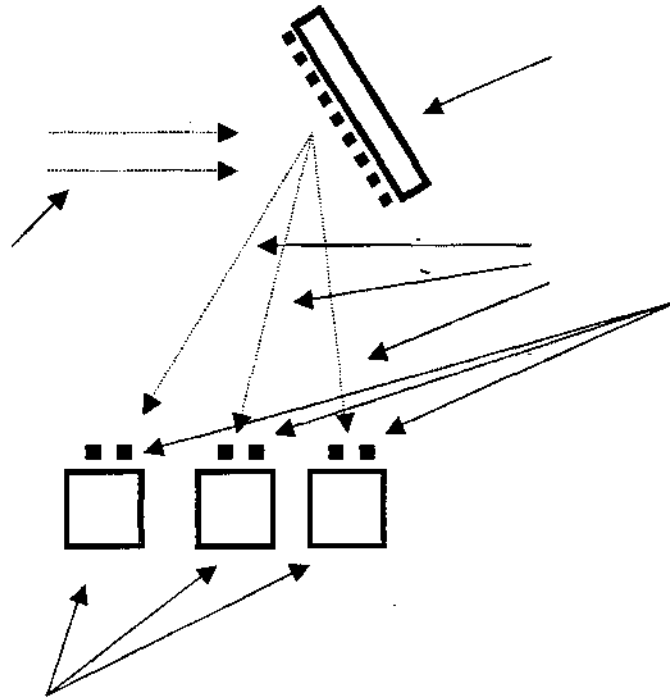


Figura 10

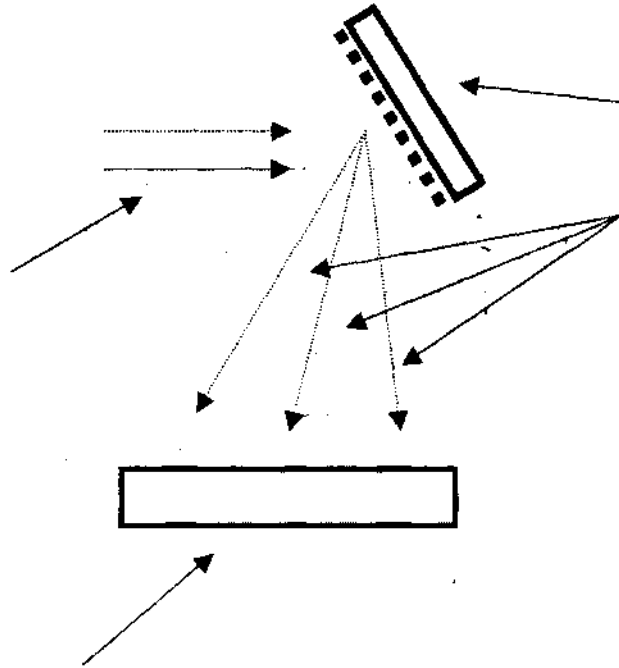


Figura 11

RESUMO

Patente de Invenção para "Transformador de Corrente Elétrica Indutivo/Optoeletrônico"

Refere-se a presente invenção, a um transformador  
5 de corrente elétrica indutivo/optoeletrônico baseado em tecnologia híbrida com o uso de uma bobina de indução eletromagnética com uma fonte óptica conectada a si. Os sinais de luz são codificados pelo acionamento (modulação) direto do mensurando sobre a referida fonte óptica. Os sinais  
10 ópticos assim produzidos são transmitidos livremente e/ou por fibra óptica para o potencial de terra.

O sensor possui grande confiabilidade, sensibilidade, faixa dinâmica adequada, é imune à interferência eletromagnética, compacto, de baixo peso, pode  
15 ser estendido para sensoriamento multiponto, não necessita de energização in-situ e é ligado ao potencial de terra mantendo-se a isolamento elétrica. Permite monitorar em tempo real a medida do valor médio da amplitude e o formato de onda instantâneo da corrente elétrica em linhas de transmissão,  
20 assim como em dispositivos tais como isoladores, buchas, pára-raios e chaves, submetidos a um potencial elétrico (voltagem) arbitrário, inclusive, 13,8 kV, 25,0 kV, 34,5 kV, 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV, 750 kV e 800 kV. É robusto, fácil, barato e seguro de se fabricar,  
25 instalar e utilizar.